

PCT
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
 Internationales Büro
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



<p>(51) Internationale Patentklassifikation 7 : H01H 1/00, 1/04</p>	A1	<p>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/44012</p> <p>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 27. Juli 2000 (27.07.00)</p>		
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top; padding: 5px;"> <p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP00/00552</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 25. Januar 2000 (25.01.00)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> 199 02 868.0 25. Januar 1999 (25.01.99) DE </div> </p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): GFD-GESELLSCHAFT FÜR DIAMANTPRODUKTE MBH [DE/DE]; Wilhelm Runge-Str. 11, D-89081 Ulm (DE). </p> <p>(72) Erfinder; und</p> <p>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): ADAMSCHIK, Mario [DE/DE]; Hermann-Hesse-Weg 18, D-89081 Ulm (DE). KOHN, Erhard [DE/DE]; Ratgebweg 21, D-89081 Ulm-Lehr (DE). ERTL, Stefan [DE/DE]; Herzog-Georg-Str. 39, D-89415 Lauingen (DE). SCHMID, Philipp [DE/DE]; Marienstr. 1, D-89231 Neu-Ulm (DE).</p> <p>(74) Anwalt: PFENNING MEINIG & PARTNER GBR; Mozartstr. 17, D-80336 München (DE).</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top; padding: 5px;"> <p>(81) Bestimmungsstaaten: AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW, ARIPO Patent (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).</p> <p style="margin-top: 20px;">Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i></p> </td> </tr> </table>			<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP00/00552</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 25. Januar 2000 (25.01.00)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> 199 02 868.0 25. Januar 1999 (25.01.99) DE </div> </p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): GFD-GESELLSCHAFT FÜR DIAMANTPRODUKTE MBH [DE/DE]; Wilhelm Runge-Str. 11, D-89081 Ulm (DE). </p> <p>(72) Erfinder; und</p> <p>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): ADAMSCHIK, Mario [DE/DE]; Hermann-Hesse-Weg 18, D-89081 Ulm (DE). KOHN, Erhard [DE/DE]; Ratgebweg 21, D-89081 Ulm-Lehr (DE). ERTL, Stefan [DE/DE]; Herzog-Georg-Str. 39, D-89415 Lauingen (DE). SCHMID, Philipp [DE/DE]; Marienstr. 1, D-89231 Neu-Ulm (DE).</p> <p>(74) Anwalt: PFENNING MEINIG & PARTNER GBR; Mozartstr. 17, D-80336 München (DE).</p>	<p>(81) Bestimmungsstaaten: AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW, ARIPO Patent (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).</p> <p style="margin-top: 20px;">Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i></p>
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP00/00552</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 25. Januar 2000 (25.01.00)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> 199 02 868.0 25. Januar 1999 (25.01.99) DE </div> </p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): GFD-GESELLSCHAFT FÜR DIAMANTPRODUKTE MBH [DE/DE]; Wilhelm Runge-Str. 11, D-89081 Ulm (DE). </p> <p>(72) Erfinder; und</p> <p>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): ADAMSCHIK, Mario [DE/DE]; Hermann-Hesse-Weg 18, D-89081 Ulm (DE). KOHN, Erhard [DE/DE]; Ratgebweg 21, D-89081 Ulm-Lehr (DE). ERTL, Stefan [DE/DE]; Herzog-Georg-Str. 39, D-89415 Lauingen (DE). SCHMID, Philipp [DE/DE]; Marienstr. 1, D-89231 Neu-Ulm (DE).</p> <p>(74) Anwalt: PFENNING MEINIG & PARTNER GBR; Mozartstr. 17, D-80336 München (DE).</p>	<p>(81) Bestimmungsstaaten: AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW, ARIPO Patent (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).</p> <p style="margin-top: 20px;">Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i></p>			
<p>(54) Title: MICROSWITCHING CONTACT</p> <p>(54) Bezeichnung: MIKROSCHALTCONTACT</p> <div style="text-align: center; margin: 20px 0;"> </div>				
<p>(57) Abstract</p> <p>The invention relates to a mechanically closing, electric microswitching contact (1) comprising two electrically conductive contact elements (7, 8) whose respective contact surfaces come into contact with one another. According to the invention, at least one of the contact surfaces is at least partially comprised of highly-doped conductive diamond, silicon carbide, gallium nitride, boron nitride, aluminum gallium nitride, and/or aluminum nitride.</p>				
<p>(57) Zusammenfassung</p> <p>Die Erfindung betrifft einen mechanisch schließenden elektrischen Mikroschalterkontakt (1) mit zwei elektrisch leitenden Kontaktelementen (7, 8), die zur Kontaktierung mit jeweiligen Kontaktflächen miteinander in Berührung treten. Erfindungsgemäß besteht nun mindestens eine der Kontaktflächen zumindest teilweise aus hochdotiertem leitfähigem Diamant, Siliziumcarbid, Galliumnitrid, Bornitrid, Aluminium-Galliumnitrid und/oder Aluminiumnitrid.</p>				

Mikroschaltkontakt

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen mechanisch schließenden elektrischen Mikroschaltkontakt. Derartige Schaltkontakte werden überall dort
5 benötigt, wo große elektrische Ströme auf engstem Raum geschaltet werden sollen, so beispielsweise in Sensoren, Aktoren und Hochleistungs-/Hochtemperaturapplikationen, wie beispielsweise in der Leistungselektronik, Kfz-Elektronik oder in chemisch aggressiven Umgebungen.
10

Mikromechanische Schalter sind im Vergleich zu konventionellen Relais schnell, schockresistent und benötigen sehr wenig Steuerleistung bei elektrostatischem Antrieb und besitzen obendrein gewöhnlich vernachlässigbare Steuerleckströme. Die Miniaturisierung erlaubt ferner die Implementierung in Mikrowellen-
15

5 schaltungen, wo Pulsbetrieb hoher Leistung erforderlich ist. Mikroschalter und Mikrorelais können dabei auf dem elektrostatischen (kapazitiven), magnetischen oder induktiven Prinzip beruhen oder auch über Temperaturänderung schaltbar sein. Die Strukturen derartiger Mikroschalter basieren im allgemeinen auf Silizium- oder Metall- oder Keramik-Mikromechanikkonzepten. Hierbei dient üblicherweise mit Siliziumdioxid beschichtetes Silizium als elektrisch isolierendes Substrat, während die Kontakte aus unterschiedlichen Mehrschichtmaterialsystemen bestehen. Für die Herstellung ist daher ein komplexes Materialsystem und eine entsprechend komplexe Vorgehensweise erforderlich.

10 Die zu schaltenden Ströme sind dabei jedoch bei metallischen oder siliziumbasierten Mikroschaltern beschränkt, da bei hohen Stromdichten durch die Verlustwärme des Schalters oft sehr hohe Temperaturen entstehen, die mit diesen Materialien nicht mehr handhabbar sind. Alternativ existieren Hybridbauten oder Schalter aus Keramik. Bei diesen ist jedoch die jeweilige Materialdicke, beispielsweise eines Biegebalkens, nach unten beschränkt.

25 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, einen mechanisch schließenden, elektrischen Mikroschaltkontakt zur Verfügung zu stellen, der chemisch inert ist, eine hohe Lebensdauer, hohe Schlagfestigkeit, hohe Schaltdynamik, minimale Materialkomplexität aufweist, der mikrowellentauglich ist, bei sehr hohen Temperaturen eingesetzt werden und eine

30

hohe Stromdichte schalten kann.

Diese Aufgabe wird durch den Mikroschaltkontakt nach Anspruch 1 sowie durch das Herstellungsverfahren für einen derartigen Mikroschaltkontakt gemäß Anspruch 28 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen werden in den abhängigen Ansprüchen gegeben.

Der erfindungsgemäße Mikroschaltkontakt besitzt zwei elektrisch leitende Kontaktelemente, die im geschlossenen Zustand sich im Bereich zweier elektrisch leitender Kontaktflächen berühren. Dabei besteht mindestens eine der beiden Kontaktflächen aus hochdotiertem, leitfähigem und mithin quasi metallischem Diamant, Siliziumcarbid (SiC), Galliumnitrid (GaN), Bor-nitrid (BN), Aluminiumnitrid (AlN) und/oder Aluminiumgalliumnitrid (AlGaN). Besonders Diamant zeichnet sich durch eine hohe Debyetemperatur aus und ist daher bis zu hohen Temperaturen elastisch und hat eine hohe Temperaturleitfähigkeit. Weiterhin besitzen diese Materialien die Eigenschaft, daß ihre elektrischen Eigenschaften durch Dotierung zwischen isolierend, halbleitend und quasi-metallisch geändert werden können. Weiterhin besitzt Diamant eine hohe Verschleißfestigkeit und mechanische Stabilität, was zu einer hohen Lebensdauer des Schaltkontaktes führt. Darüber hinaus kann der erfindungsgemäße Mikroschalter bei sehr hohen Temperaturen, beispielsweise bis 800 °C, eingesetzt werden und eine hohe Stromdichte (mit hoher Verlustleistung) beispielsweise von $1 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$ bei < 600 °C Betriebstemperatur, schalten. Diese Eigenschaften werden durch ein einziges Grundmaterial

ermöglicht. Dadurch, daß keine plastische Verformung, selbst bei hohen Temperaturen in Diamant auftritt, ist auch keine Veränderung der Schwellspannung bei Temperaturen selbst über
5 T > 600 °C zu erwarten.

Unter Schwellspannung wird die minimale erforderliche Schaltspannung und unter Schaltgrenzfrequenz die maximale, stabil erzeugbare Schaltfrequenz verstanden.
10

Eine derart hohe Temperatur-Stabilität ist mit metallischen oder siliziumbasierten Mikroschaltern nicht realisierbar.

15 Weiterhin ist es mit dem erfindungsgemäßen Mikroschaltkontakt möglich, sehr kleine freistehende Schichtstrukturen herzustellen, beispielsweise Biegebalken mit einer Dicke zwischen üblicherweise 0,5 bis
20 10 µm. Dies reduziert die Trägheit der bewegten Elemente und erhöht damit die Schaltdynamik. Derartig kleine Schichtdicken mit hoher Biegesteifigkeit und Bruchfestigkeit sind mit Keramik- und Hybridaufbau derzeit nicht realisierbar.

25 Erfindungsgemäß können eine oder vorzugsweise beide Kontaktflächen der Kontaktelemente aus Diamant, SiC, AlN, BN, GaN und/oder AlGaIn bestehen. Alternativ kann jedoch auch eine der beiden Kontaktflächen zumindest teilweise aus Metall (Al, Au, Cu, Ni), einem carbidbildenden Metall und/oder einer hochtemperaturstabilen Metallisierung bestehen. Die hochtemperaturstabile Metallisierung kann dabei W:Si und/oder Ta:Si ent-
30

halten.

5

10

Vorteilhafterweise ist je eine der beiden Kontaktflächen auf einer Bodenplatte und/oder einem Biegebalken angeordnet. Dabei ist der Biegebalken vorzugsweise freitragend über einen an einem seiner Enden angeordneten Anker oder einer anderen mechanischen Verbindung fixiert. Sowohl die Bodenplatte als auch der Anker oder der Biegebalken können aus einem der oben genannten Materialien Diamant, SiC, GaN, AlN, BN und/oder AlGaN bestehen. Vorteilhafterweise wird als BN für sämtliche Schichten und Elemente des erfindungsgemäßen Mikroschaltkontaktes kubisches Bornitrid verwendet.

15

20

25

30

Bei Verwendung von Diamant ergibt sich ein hervorragendes mechanisches Federungsverhalten und damit eine hohe Schaltgrenzfrequenz des Biegebalkens, da Diamant ein sehr hohes Elastizitätsmodul aufweist. Der Biegebalken kann nunmehr aufgrund des elektrostatischen, induktiven, hydraulischen, pneumatischen, mechanischen und/oder thermomechanischen Prinzips in Richtung der Bodenplatte bewegt werden, so daß sich die einander gegenüber angeordneten Kontaktelemente berühren und einen elektrischen Kontakt erzeugen. Die Ströme zu den beiden Kontaktelementen können über jeweilige Außenkontakte, die beispielsweise auf dem ersten Kontaktelement bzw. auf dem Biegebalken als Metallisierung aufgebracht sind, zugeführt werden.

Weiterhin kann auf der Bodenplatte unterhalb des Biegebalkens eine Steuerelektrode angebracht sein, über

die mittels des elektrostatischen Prinzips der Biegebalken in Richtung der Bodenplatte bewegt werden kann. Auch an dieser Steuerelektrode sind seitlich außerhalb des von dem Biegebalken überdeckten Bereiches Metallisierungen als Außenkontakte zum Anlegen der Steuerspannung angeordnet.

Die Kontaktierung der Kontaktelemente und der Steuerelektrode kann auch über die sogenannte via-hole-Technik erfolgen, bei der entsprechende Löcher in die Bodenplatte rückseitig eingeätzt sind, so daß rückseitig die entsprechenden zu kontaktierenden Bestandteile freiliegen und mit einer Metallisierung als Außenkontakt überzogen werden können.

Erfindungsgemäß kann nun das gesamte Bauelement (Mikroschaltkontakt) aus einem einzigen Material aufgebaut werden, beispielsweise Diamant. Dabei wird mittels geeigneter Dotierung erreicht, daß beispielsweise die Kontaktelemente, die Steuerelektrode und der Biegebalken elektrisch leitend sind, beispielsweise durch starke Dotierung beispielsweise mit Bor, Stickstoff, Schwefel oder Phosphor. Andererseits kann die Bodenplatte aus isolierendem, über ein CVD-Verfahren abgeschiedenem Diamant bestehen, ebenso der Anker.

Das gesamte Bauelement kann auf einer Trägerschicht, beispielsweise aus Silizium, angeordnet sein. Diese kann auch noch während der Fertigung des Bauelements vorhanden und nachträglich wieder entfernt werden. Zwischen der Bodenplatte und der Trägerschicht kann dabei eine weitere isolierende Schicht, beispielsweise

se aus SiO_x angeordnet werden, um jegliche Leckströme durch das Trägermaterial zu unterbinden.

5 Erfindungsgemäß kann die Herstellung eines veranker-
ten Schaltkontaktes erfolgen, indem zuerst die Boden-
platte, der Anker und das erste Kontaktelement sowie
gegebenenfalls die Steuerelektrode auf einen Silizi-
umträger, beispielsweise über CVD-Verfahren, vorzugs-
weise Plasma-CVD aber auch über Arc-Jet-CVD oder Hot-
10 Filament-CVD abgeschieden werden. Daraufhin wird eine
Opfer-Schicht aufgebracht, auf die anschließend der
Biegebalken abgeschieden wird. Der Biegebalken wird
dabei mit dem Anker und damit der Bodenplatte verbun-
den, so daß anschließend die Opfer-Schicht entfernt
15 werden kann und der Biegebalken als freitragendes me-
chanisches Bauelement verbleibt.

Im folgenden wird ein Beispiel eines erfindungsgemä-
Ben Mikroschaltkontaktes gegeben. Es zeigen

20 Figur 1 einen erfindungsgemäßen Mikroschaltkontakt;

Figur 2 die Temperaturabhängigkeit der Schwellspan-
nung des Schaltkontaktes aus Figur 1;

25 Figur 3 die Simulation der Temperaturverteilung im
Vakuum des Mikroschaltkontaktes aus Figur
1;

30 Figur 4 einen Schaltkontakt mit einem geschalteten
Schaltkontakt und zwei Abschirmungen sowie

Figur 5 einen Schaltkontakt mit geschaltetem Signalkontakt und zwei geschalteten Abschirmungen.

5 Figur 1 zeigt einen erfindungsgemäßen Mikroschaltkontakt 1. Bei dem Mikroschaltkontakt 1 befindet sich auf einer Trägerschicht 2 aus Silizium eine Bodenplatte 3 aus nichtdotiertem und damit nichtleitendem, über ein CVD-Verfahren abgeschiedenen Diamant. An einem Ende der Bodenplatte ist eine weitere nichtleitende Diamantschicht als Anker 4 aufgebracht. Am anderen Ende der Bodenplatte 3 ist ein Kontaktelement 7 aus stark mit Bor dotiertem und mithin quasi-metallisch leitendem Diamant angeordnet.

10 Oberhalb des Ankers 4 und mit diesem verbunden, jedoch in Richtung der Bodenplatte 3 diesen überragend, befindet sich ein Biegebalken 5 aus ebenfalls über eine starke Bor-Dotierung quasi-metallisch leitendem Diamant. Die Höhe des Ankers 4 bestimmt dabei den Abstand des Biegebalkens 5 von der Bodenplatte 3. Dieser Biegebalken 5 erstreckt sich freitragend bis über das erste Kontaktelement 7, wo an seiner Unterseite ein zweites Kontaktelement 8 aus elektrisch leitendem Diamant angeordnet ist. Die beiden Kontaktelemente 7 und 8 weisen im nichtgeschalteten Zustand einen vorbestimmten Abstand voneinander auf.

15 Unterhalb des Biegebalkens im Zwischenraum zwischen dem Biegebalken 5 und der Bodenplatte 3 befindet sich eine Steuerelektrode 9 aus elektrisch leitendem Diamant. Sowohl die Steuerelektrode 9 als auch das erste

Kontaktelement 7 weisen Metallisierungen aus W:Si oder Au 11 bzw. 10 auf, die als Außenkontakte zum Anlegen von Spannungen und Strömen an die Steuerelektrode 9 bzw. das erste Kontaktelement 7 dienen. Diese Metallisierungen 11 und 10 sind außerhalb des Bereiches angebracht, der von dem Biegebalken 5 überdeckt wird. Dadurch wird eine Kontaktierung zwischen dem Biegebalken 5 und den Metallisierungen 11 und 10 vermieden, wenn sich der Biegebalken in Richtung des Pfeiles A durchbiegt.

Das zweite Kontaktelement 8 ist über den Biegebalken 5 mit einer auf diesem Biegebalken angebrachten, als Außenkontakt dienenden Metallisierung 6 elektrisch verbunden. An diese Metallisierung 6 kann Spannung an das zweite Kontaktelement 8 angelegt werden.

Über die Dicke und die Dimensionierung des Biegebalkens 5 können dessen elastische Eigenschaften verändert werden, so daß beispielsweise die Schwellspannung oder auch die Schaltgrenzfrequenz individuell eingestellt werden können.

In alternativen Ausführungen kann die Bodenplatte 3 des Mikroschaltkontaktes statt aus Diamant auch aus SiC, GaN, AlN, AlGaN oder BN bestehen. Der Träger 2 besteht vorteilhafterweise aus (100)-orientiertem Silizium. In diesem Falle kann die Bodenplatte 3 hoch orientiert sein und eine hohe Oberflächenplanarität besitzen. Der zweite Kontakt 8 kann alternativ auch aus einer hochtemperaturstabilen Metallisierung wie W:Si oder Ta:Si bestehen. Alternativ kann jedoch auch

das zweite Kontaktelement 8 aus Diamant und das erste Kontaktelement 7 aus einer derartigen hochtemperaturstabilen Metallisierung bestehen. Die Metallisierung kann selbst auf einem Diamantsubstrat erfolgen ("metallüberzogener Diamant"), wobei die guten mechanischen Eigenschaften des Diamants genutzt werden. Derartige hochtemperaturstabile Metallisierungen sind beispielsweise von hochtemperaturstabilen Schottky-Diodenmaterialien her bekannt.

Der in Figur 1 gezeigte Schaltkontakt 1 wird hier kapazitiv (elektrostatistisch) geschaltet. Als obere Kondensatorplatte dient dabei der Biegebalken 5 und als untere Elektrode die Steuerelektrode 9. Abhängig von der geometrischen Dimensionierung des Biegebalkens 5 und der Steuerelektrode 9 kann dabei die Schaltspannung zwischen einigen Volt und einigen 10 Volt eingestellt werden. Im vorhergehenden Beispiel besitzt der Biegebalken 5 eine Dicke zwischen 0,5 und 10 μm . Diese geringen Schichtdicken führen ebenso wie das hohe Elastizitätsmodul von Diamant zu einer geringen Tragheit und damit hohen Schaltgrenzfrequenz. Derartig kleine Schichtdicken für Biegebalken sind mit einem Keramik- oder Hybrid Aufbau nicht realisierbar.

Figur 2 zeigt die gemessene Temperaturabhängigkeit der Schwellspannung des in Figur 1 dargestellten Mikroschaltkontaktes 1. Es ist unschwer zu erkennen, daß bis zu Temperaturen weit über 600 °C ein Schalten ohne eine Veränderung der Schwellspannung möglich ist.

Figur 3 zeigt die simulierte Temperaturverteilung im Vakuum des in Figur 1 dargestellten Mikroschaltkontaktes 1 bei einer Stromdichte von $1 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$.

5 Durch die hohe Wärmeleitfähigkeit von Diamant lassen sich hohe Verlustleistungen abführen.

Durch die hohe Temperaturstabilität des Materials toleriert der Schaltkontakt hohe Temperaturen.

10

Figur 4 zeigt ein weiteres Beispiel eines erfindungsgemäßen Mikroschaltkontaktes, bei dem Abschirmungen für HF-Frequenzen vorgesehen sind. Bei dieser Figur sind entsprechende Elemente mit entsprechenden Bezugszeichen wie in Figur 1 versehen und werden daher nicht weiter erläutert.

15

20

25

30

Im Unterschied zu Figur 1 ist nunmehr an dem Anker 4 ein Biegebalken 5 befestigt, der drei verschiedene, voneinander elektrisch getrennte Metallisierungen 6a, 6b und 6c aufweist. Der Biegebalken selbst ist aus elektrisch isolierendem Diamant, während die Metallisierung 6a, 6b, 6c jeweils mit Kontaktelementen 8a, 8b und 8c verbunden sind. Dies ist in Figur 4A dargestellt. Die Metallisierungen 6a, 6b und 6c sind auf der Seite des Ankers 4 mit weiteren Metallisierungen 12a, 12b und 12c verbunden. Damit trägt der Biegebalken 5 insgesamt 3 Schaltfinger, wobei der mittlere Schaltfinger mit der Metallisierung 6b zur Signalleitung verwendet wird, während die beiden anderen Schaltfinger mit den Metallisierungen 6a und 6c zur Abschirmung auf Masse gelegt sind.

5 Wird der Biegebalken 5 nun durchgebogen, indem an die
Steuerelektrode 9 eine entsprechende Spannung ange-
legt wird, so werden die Kontaktelemente 6a, 6b und
6c mit den entsprechenden Kontaktelementen 7a, 7b und
7c auf dem Diamantsubstrat 3 verbunden. Folglich wird
ein elektrischer Kontakt zwischen den Metallisierun-
gen 12a, 12b und 12c mit den Metallisierungen 10a,
10b bzw. 10c hergestellt. Damit ist nicht nur das
10 Signal, sondern auch die entsprechende Massenabschir-
mung durchgeschaltet.

15 Figur 4B zeigt einen Querschnitt durch jeden der ein-
zelnen Schaltfinger, wobei zu beachten ist, daß sämt-
liche Schaltfinger auf demselben Biegebalken 5 ange-
ordnet sind. Die Indizes a, b und c wurden hier weg-
gelassen, da jeder dieser Schaltfinger gleich aufge-
baut ist.

20 Figur 5 zeigt einen weiteren erfindungsgemäßen
Schaltkontakt, der ebenfalls drei Finger aufweist,
wobei jedoch nur der mittlere Signalkontakt geschal-
tet wird. In Figur 5 sind ebenfalls, wie in Figur 4,
entsprechende Elemente mit entsprechenden Bezugszei-
chen wie in Figur 1 versehen, so daß auf ihre Be-
25 schreibung verzichtet wird.

30 Figur 5B zeigt einen Querschnitt durch einen masse-
führenden Schaltkontakt, bei dem auf dem gemeinsamen
Biegebalken 5 eine Metallisierung 14 aufgebracht ist.
Weiterhin ist zwischen der isolierenden Diamant-
schicht 3 und dem Anker 4 eine Metallisierung 13 an-

geordnet, die sich über die gesamte Länge des Schaltfingers erstreckt und als Masseabschirmung beide Seiten des Schaltkontaktes miteinander verbindet. Die Metallisierung 14 auf dem Biegebalken 5 dient als Steuerelektrode. Sowohl die Metallisierung 13 als auch die Metallisierung 14 können beispielsweise aus W:Si, W:Si:N, Ti, Au, eventuell auch mit darunter liegender P⁺-Diamantschicht bestehen. Der Biegebalken 5 ist in diesem Beispiel semi-isolierend ausgeführt.

In Figur 5C ist der mittlere Schaltfinger dargestellt, der als Signalleitung fungiert. Dieser Schaltkontakt ist in gleicher Weise ausgeführt wie der Schaltkontakt, der in Figur 4B dargestellt ist, und wird an dieser Stelle daher nicht weiter beschrieben.

In Figur 5A ist eine Aufsicht auf den gesamten Schaltkontakt dargestellt, wobei hier zu erkennen ist, daß lediglich der mittlere Schaltfinger bei einer Durchbiegung des Biegebalkens 5 einen elektrischen Kontakt zwischen den beiden Kontaktelementen 7 und 8 herstellt. Der Balken 5 wird dabei elektrostatisch durch Anlegen einer Spannung zwischen dem Balkenkontakt 14 und der Substratmassefläche 13 ausgelenkt. Dadurch wird der Diamantkontakt über die Kontaktelemente 7, 8 geschlossen und es kann ein Signalstrom über die Metallisierung 12, 6, über die Kontaktelemente 8, 7 und die Metallisierung 10 fließen. Die Balkenmetallisierungen 14 für die Steuerspannung sind von der darunter und daneben liegenden Substratmassemetallisierung 13 über den isolierenden Anker 4

elektrisch getrennt. Die beiden Signalmetallisierungen 6 sind mit der Substratsignalmetallisierung 12 verbunden, wobei die beiden Metallisierungen 12 und 13 sowie die beiden Metallisierungen 10 und 13 jeweils räumlich und damit auch elektrisch voneinander getrennt sind.

Insgesamt ergibt sich folglich, daß mit dem erfindungsgemäßen Mikroschaltkontakt es möglich wird, sehr hohe Ströme bei sehr hohen Temperaturen zu schalten. Dabei wird insbesondere ausgenutzt, daß Diamant, abhängig von seiner Dotierung, sehr variable elektrische Eigenschaften besitzt und als multifunktionelles Material eingesetzt werden kann. Diamant besitzt eine hohe Wärmeleitfähigkeit sowie eine hohe Hitzebeständigkeit. Der erfindungsgemäße Mikroschalter ist chemisch inert, weist eine hohe Lebensdauer, hohe Schlagfestigkeit, hohe Schaltdynamik sowie eine minimale Materialkomplexität auf und ist mikrowellentauglich.

3. Mikroschaltkontakt nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß die hochtemperaturstabile Metallisierung W:Si und/oder Ta:Si enthält.

5

4. Mikroschaltkontakt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Bodenplatte, wobei auf der Oberseite der Bodenplatte das erste Kontaktelement derart angeordnet ist, daß seine Kontaktfläche der Bodenplatte gegenüber liegt, einen Anker, der auf der Oberseite der Bodenplatte in einem vorbestimmten Abstand zu dem ersten Kontaktelement angeordnet ist, sowie einen Biegebalken, der auf der der Bodenplatte abgewandten Seite des Ankers befestigt ist und von diesem in einem vorbestimmten Abstand zur Bodenplatte gehalten wird, wobei der Biegebalken sich freitragend von dem Anker bis mindestens über das erste Kontaktelement erstreckt und wobei das zweite Kontaktelement auf der dem ersten Kontaktelement zugewandten Seite des Biegebalkens angeordnet ist, derart, daß die Kontaktfläche des zweiten Kontaktelementes der Kontaktfläche des ersten Kontaktelementes gegenüber liegt.

10

15

20

25

30

Patentansprüche

5

1. Mechanisch schließender, elektrischer Mikro-
schaltkontakt mit einem ersten und einem zweiten
elektrisch leitenden Kontaktelement mit einer
ersten bzw. einer zweiten elektrisch leitenden
10 Kontaktfläche, wobei die beiden Kontaktelemente
im offenen Zustand des Mikroschaltkontakts einen
vorbestimmten Abstand voneinander aufweisen und
im geschlossenen Zustand einander in einem Kon-
taktbereich im Bereich der ersten und zweiten
15 Kontaktflächen berühren,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
d a ß

die erste Kontaktfläche und/oder die zweite Kon-
taktfläche zumindest teilweise aus hochdotier-
tem, leitfähigem Diamant, Siliziumcarbid (SiC),
20 Galliumnitrid (GaN), Bornitrid (BN), Aluminium-
Galliumnitrid (AlGaN) und/oder Aluminiumnitrid
(AlN) besteht.

20

25

2. Mikroschaltkontakt nach dem vorhergehenden An-
spruch, dadurch gekennzeichnet, daß eine der
beiden Kontaktflächen zumindest teilweise aus
Metall, einem karbidbildenden Metall und/oder
einer hochtemperaturstabilen Metallisierung be-
steht.

30

5. Mikroschaltkontakt nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß die Bodenplatte zumindest teilweise aus einer elektrisch isolierenden Diamantschicht, SiC, GaN, AlGa_N, BN und/oder AlN besteht.
6. Mikroschaltkontakt nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Anker zumindest teilweise aus elektrisch isolierendem Diamant, SiC, GaN, AlGa_N, BN und/oder AlN besteht derart, daß er die Bodenplatte und den Biegebalken voneinander elektrisch isoliert.
7. Mikroschaltkontakt nach einem der drei vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Biegebalken zumindest teilweise aus elektrisch leitend dotiertem Diamant, SiC, GaN, AlGa_N, BN und/oder AlN besteht.
8. Mikroschaltkontakt nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Biegebalken in Richtung senkrecht zur Oberfläche der Bodenplatte eine Dicke zwischen 0,5 und 10 µm aufweist.
9. Mikroschaltkontakt nach einem der Ansprüche 4 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Bodenplatte auf einem Substrat als Träger angeordnet ist.

5 10. Mikroschaltkontakt nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat zumindest teilweise aus Silizium besteht.

10 11. Mikroschaltkontakt nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat zumindest teilweise aus (100)-orientiertem Silizium besteht.

15 12. Mikroschaltkontakt nach einem der Ansprüche 4 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß er elektrostatisch, induktiv, mechanisch und/oder thermodynamisch schaltbar ist.

20 13. Mikroschaltkontakt nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß auf der Bodenplatte zwischen der Bodenplatte und dem Biegebalken eine Steuerelektrode angeordnet ist.

25 14. Mikroschaltkontakt nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerelektrode zumindest teilweise aus elektrisch leitend dotiertem Diamant besteht.

15. Mikroschaltkontakt nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerelektrode elektrische Außenkontakte

zur Spannungsversorgung der Steuerelektrode aufweist.

- 5 16. Mikroschaltkontakt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß an dem ersten und/oder zweiten Kontaktelement außerhalb des Kontaktbereichs elektrische Außenkontakte zur Spannungs- und Stromversorgung des Kontaktelementes angeordnet sind.
- 10 17. Mikroschaltkontakt nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß das erste und/oder zweite Kontaktelement außerhalb des Kontaktbereichs mit Oberflächenmetallisierungen zur Bildung der elektrischen Außenkontakte versehen sind.
- 15 18. Mikroschaltkontakt nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerelektrode mit Oberflächenmetallisierungen zur Bildung der elektrischen Außenkontakte versehen ist.
- 20 19. Mikroschaltkontakt nach einem der Ansprüche 4 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche des Biegebalkens zumindest teilweise Oberflächenmetallisierungen aufweist.
- 25 20. Mikroschaltkontakt nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß die dem An-

ker entgegengesetzte Oberfläche des Biegebalkens zumindest teilweise Oberflächenmetallisierungen aufweist.

- 5 21. Mikroschaltkontakt nach einem der Ansprüche 17 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberflächenmetallisierung ein Edelmetall, ein Nichtedelmetall oder eine Metalllegierung aufweist.
- 10 22. Mikroschaltkontakt nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberflächenmetallisierung durch Aufdampfen, Zerstäuben oder galvanische Abscheidung auf die Kontaktelemente, den Biegebalken und/oder die Steuerelektrode aufgebracht ist.
- 15
23. Mikroschaltkontakt nach einem der Ansprüche 4 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Bodenplatte und ggf. der Träger im Bereich des ersten Kontaktelementes und gegebenenfalls im Bereich der Steuerelektrode auf der von diesen abgewandten Seite Öffnungen aufweisen, über die das erste Kontaktelement und gegebenenfalls die Steuerelektrode elektrisch kontaktierbar sind.
- 20
- 25
24. Mikroschaltkontakt nach einem der Ansprüche 4 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Träger und der Bodenplatte eine Zwischenschicht aus Silizium(di)oxid (SiO_x), Siliziumnitrid, Metall, einer Legierung und/oder einem Dielektri-
- 30

kum angeordnet ist.

5 25. Mikroschaltkontakt nach einem der Ansprüche 4 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Bodenplatte, der Anker und/oder der Biegebalken durch chemische Gasphasenabscheidung (CVD-Verfahren) von Diamant hergestellt ist.

10 26. Mikroschaltkontakt nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß der Diamant durch Plasma-CVD, Arc-Jet-CVD, und/oder Hot-Filament-CVD abgeschieden ist.

15 27. Mikroschaltkontakt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrisch leitfähigen Diamantschichten der Kontaktelemente, des Biegebalkens und/oder der Steuerelektrode zumindest teilweise aus Diamantschichten bestehen, die mit Bor, Stickstoff, Schwefel und/oder Phosphor dotiert sind.

20

25 28. Verfahren zur Herstellung eines Mikroschaltkontaktes nach einem der Ansprüche 4 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß auf einem Träger eine Bodenplatte, ein Anker und das erste Kontaktelement aufgebracht, auf die Bodenplatte bis zur Höhe des Ankers eine Opferschicht aufgebracht, auf den Anker und die Opferschicht der Biegebalken

30

ken und das mit dem Biegebalken verbundene zweite Kontaktelement aufgebracht wird,
und abschließend die Opferschicht entfernt wird.

5 29. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß eine Opferschicht aus Metall, einem Dielektrikum, Siliziumdioxid, SiO_x , Si_3N_4 und/oder SiO_xN_y aufgebracht wird.

10 30. Verfahren nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Opferschicht durch Ätzen entfernt wird.

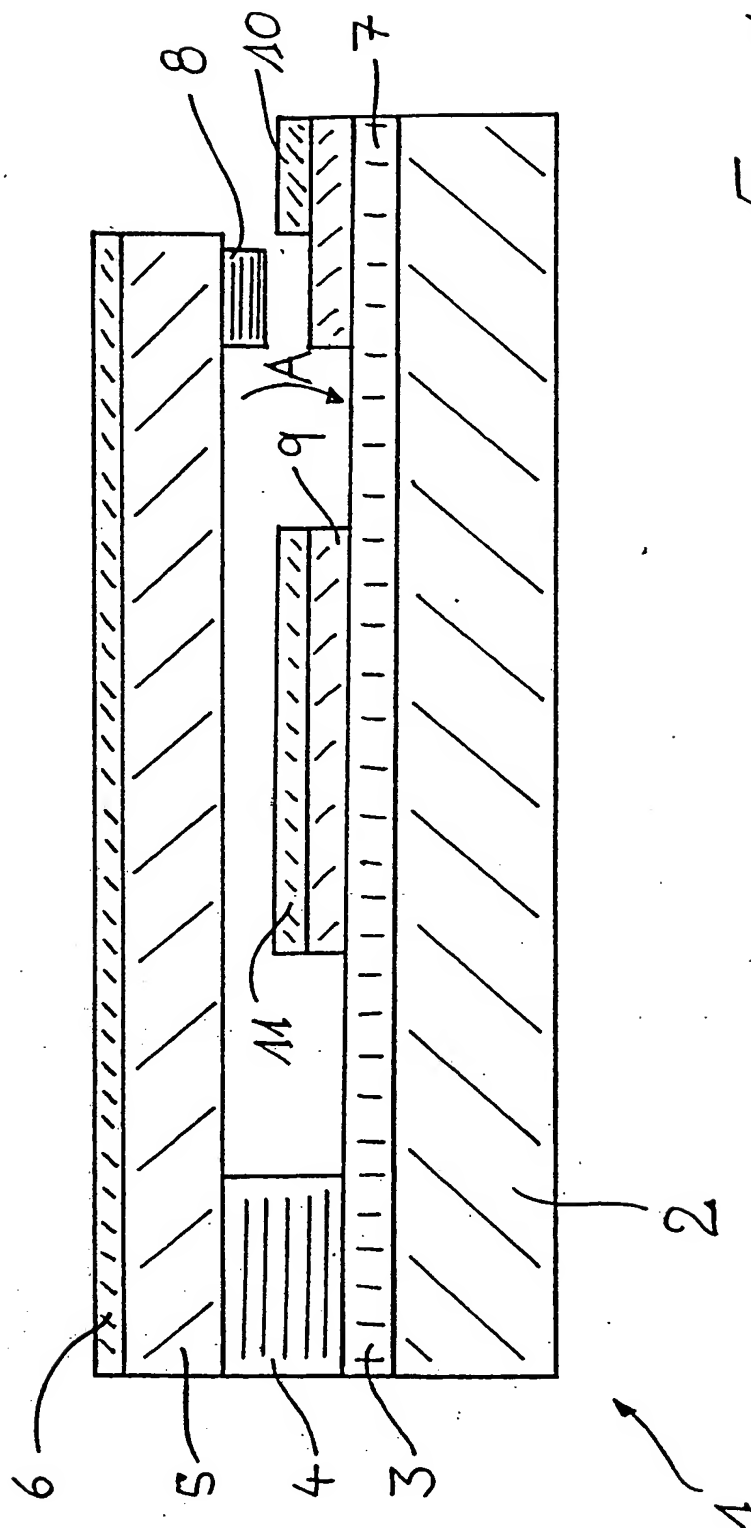


Fig. 1

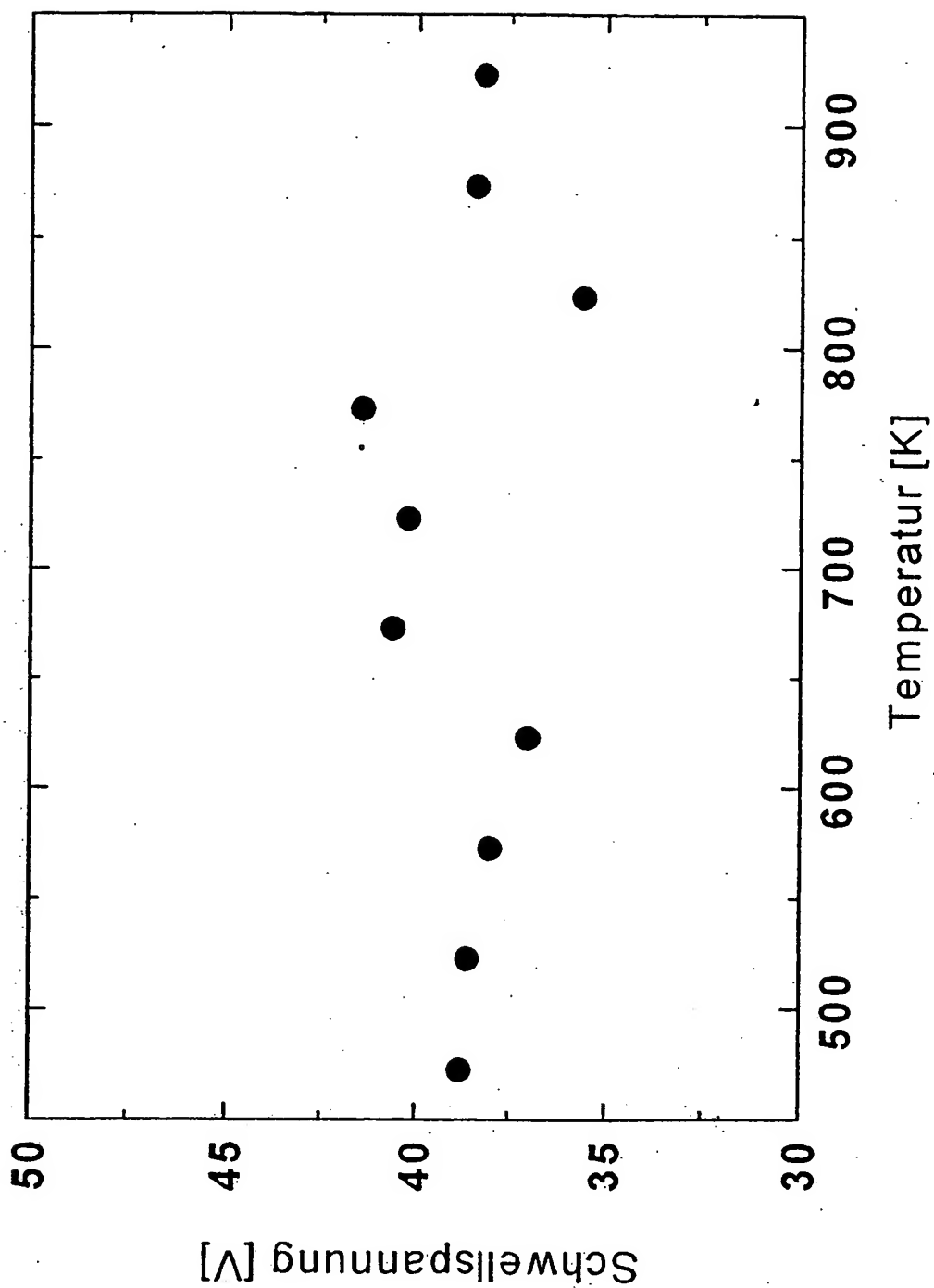


Fig. 2

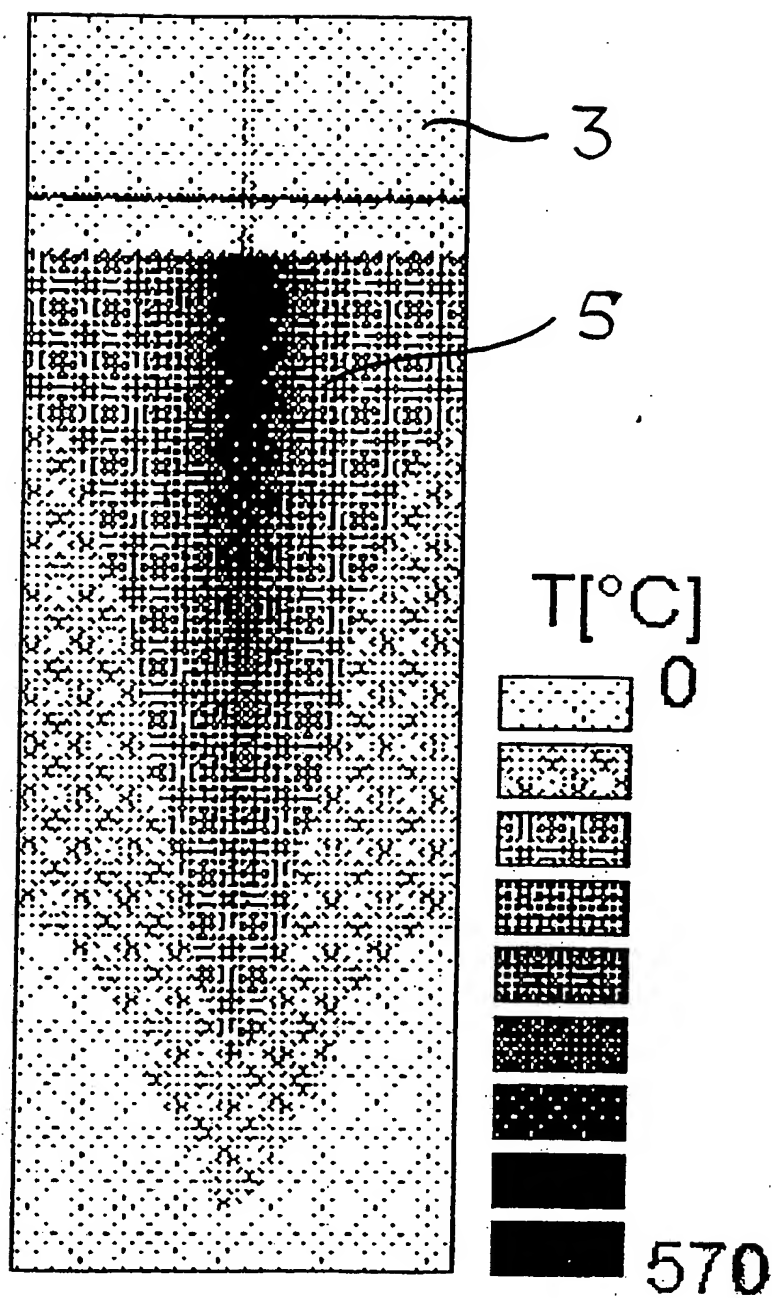


Fig. 3

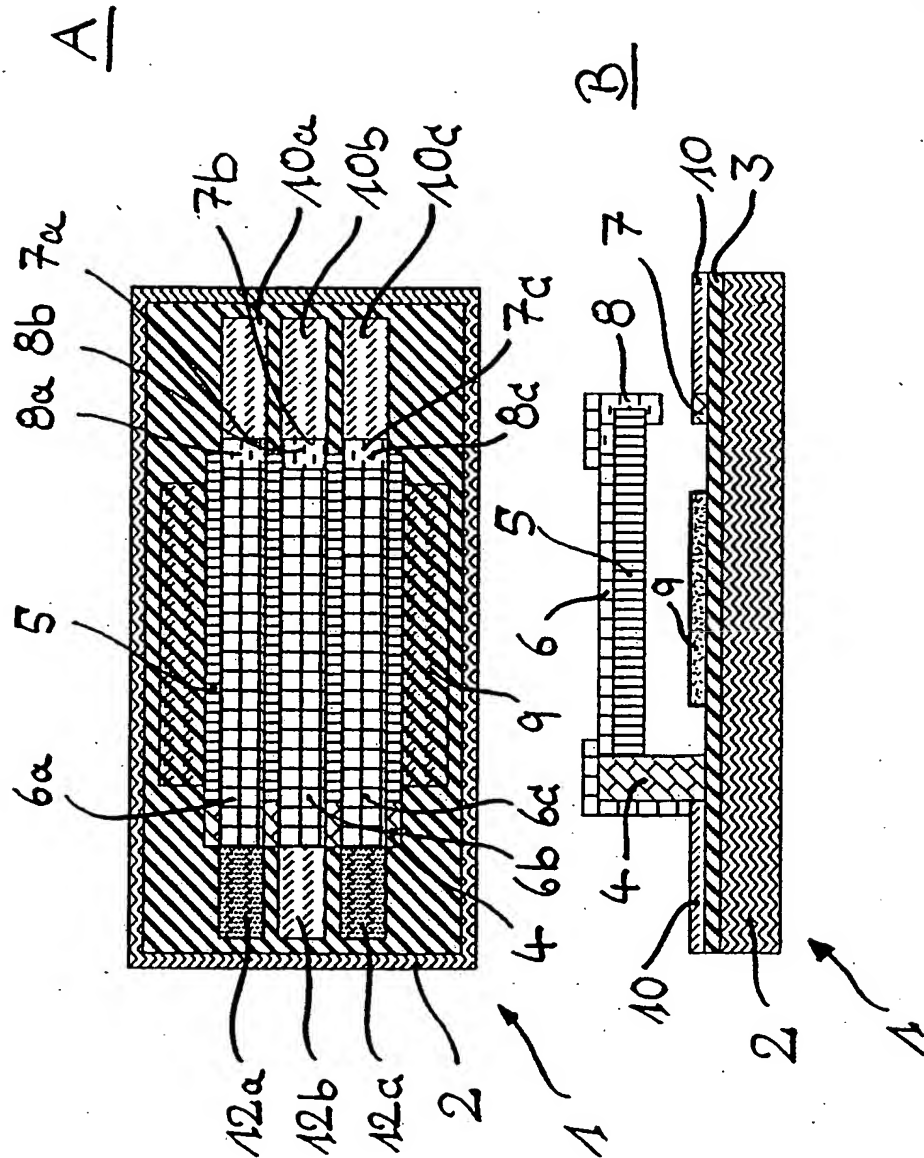


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Internat'l Application No

PCT/EP 00/00552

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4954170 A	04-09-1990	AU 623528 B	14-05-1992
		AU 5691290 A	03-01-1991
		CA 2017867 A	31-12-1990
		CN 1048412 A,B	09-01-1991
		DE 4019441 A	03-01-1991
		FR 2649026 A	04-01-1991
		GB 2233670 A,B	16-01-1991
		IT 1248996 B	11-02-1995
		JP 3044403 A	26-02-1991
		MX 164483 B	19-08-1992
		NZ 234182 A	26-05-1992
		PH 26485 A	27-07-1992
		ZA 9004460 A	24-04-1991
EP 0518532 A	16-12-1992	AU 1718092 A	11-03-1993
		JP 6144993 A	24-05-1994
		ZA 9203839 A	27-01-1993
US 5413668 A	09-05-1995	DE 4435413 A	27-04-1995
		JP 7188926 A	25-07-1995
EP 0732635 A	18-09-1996	FR 2731715 A	20-09-1996

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 00/00552

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H01H1/00 H01H1/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	US 4 954 170 A (FEY MAURICE G ET AL) 4 September 1990 (1990-09-04) abstract	1-3 4-30
X A	EP 0 518 532 A (DE BEERS IND DIAMOND) 16 December 1992 (1992-12-16) the whole document	1-3 4-30
X A	US 5 413 668 A (ASLAM MOHAMMAD ET AL) 9 May 1995 (1995-05-09) abstract	1-3 4-30
X A	EP 0 732 635 A (SUISSE ELECTRONIQUE MICROTECH) 18 September 1996 (1996-09-18) abstract	1-3 4-30

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"Z" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

5 April 2000

Date of mailing of the international search report

18/04/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Müsser, T

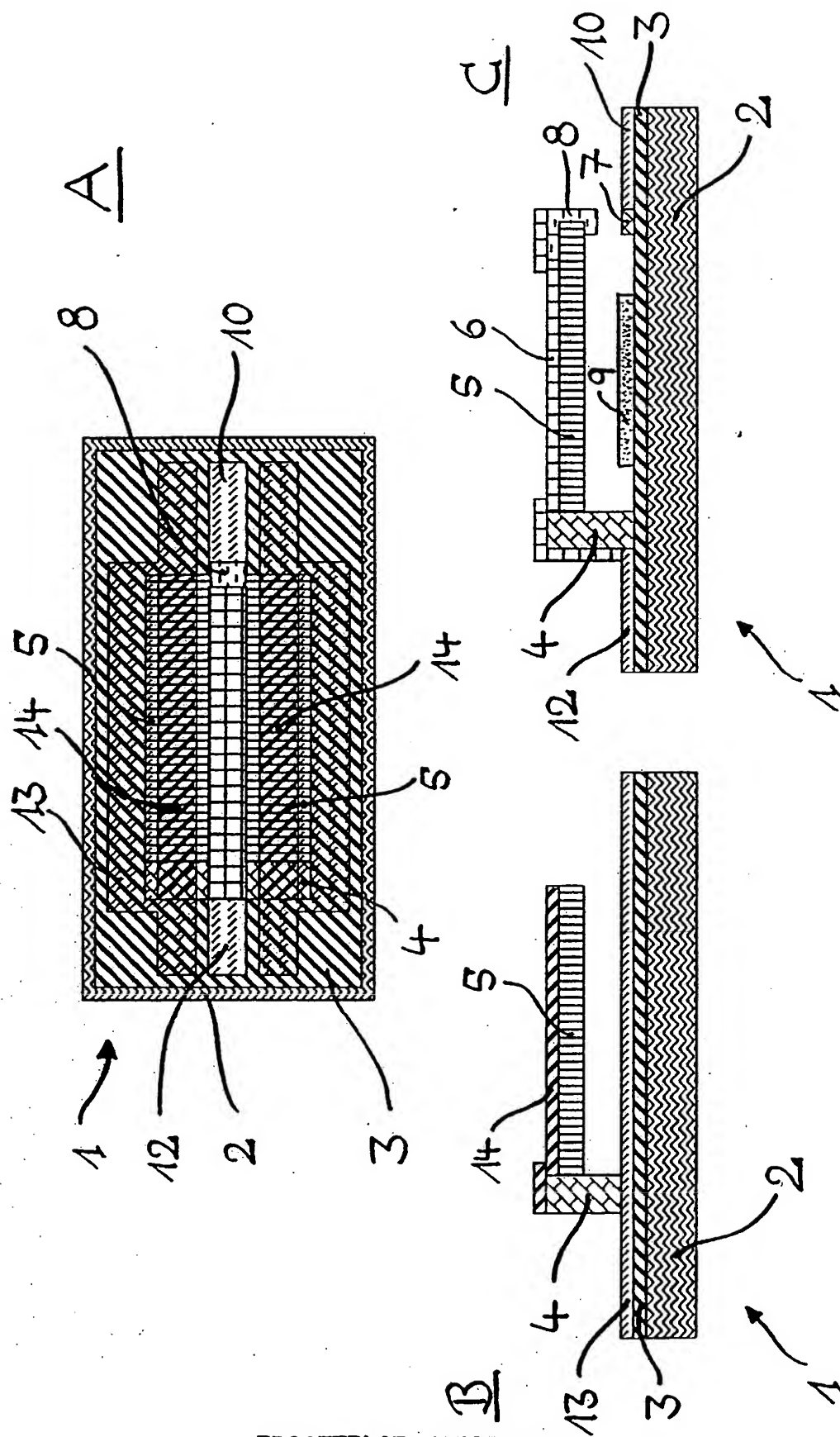


Fig. 5